

# EUROPEAN PATENT OFFICE

## Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 2002350181  
 PUBLICATION DATE : 04-12-02

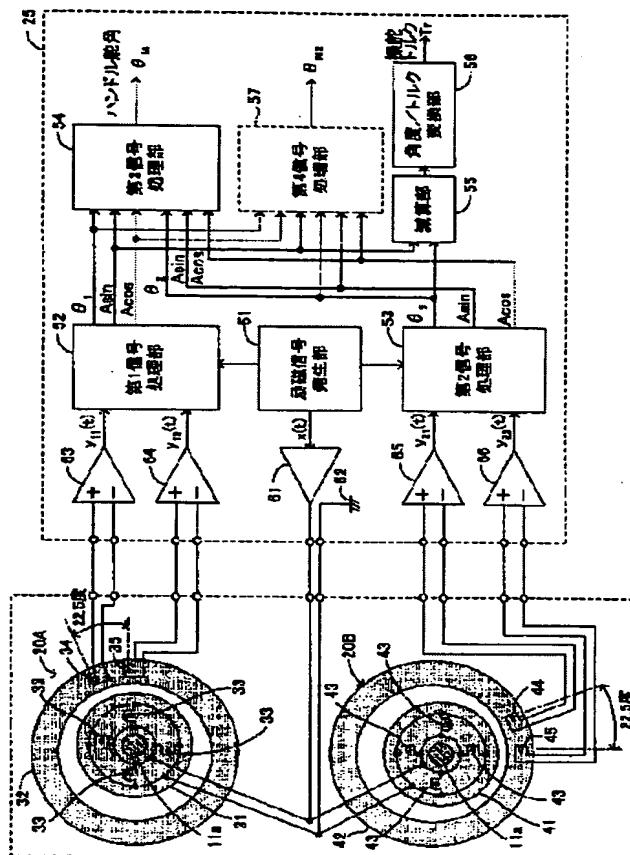
APPLICATION DATE : 30-05-01  
 APPLICATION NUMBER : 2001161702

APPLICANT : TOYOTA MOTOR CORP;

INVENTOR : NISHIHARA AKIO;

INT.CL. : G01D 5/245 G01B 7/30 G01L 3/10  
 G01L 5/22 H02K 24/00

TITLE : RESOLVER AND ROTATION-ANGLE DETECTOR



**ABSTRACT :** PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a resolver by which the rotation angle of a shaft is detected with satisfactory accuracy over a wide range and which detects a torque acting on the shaft.

SOLUTION: A resolver 20A and a resolver 20B are assembled respectively to both ends of a torsion bar in a state that one is turned by 90°. The resolvers 20A, 20B are excited by an excitation signal at a definite amplitude from an excitation-signal generator 51, and they output one pair each of signals which are doubly amplitude-modulated at a small cycle and a large cycle when a rotor 31 and a rotor 41 are turned. A signal processing parts 52, 53 calculate rotation angles at 90° each at the upper end and the lower end of the torsion bar as electrical angles changed over 0 to 360°. A signal processing part 54 calculates the rotation angle of the torsion bar as a low-accuracy mechanical angle, it corrects the mechanical angle on the basis of the electrical angles, and it calculates the rotation angle over a wide range with satisfactory accuracy. A subtraction part 55 and an angle/torque conversion part 56 calculate the torque on the basis of the difference between both electrical angles.

COPYRIGHT: (C)2003,JPO

BEST AVAILABLE COPY

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2002-350181

(P2002-350181A)

(43)公開日 平成14年12月4日 (2002.12.4)

(51)Int.Cl.

G 01 D 5/245  
G 01 B 7/30  
G 01 L 3/10  
5/22  
H 02 K 24/00

識別記号

1 0 1  
1 0 1  
1 0 1

F I

G 01 D 5/245  
G 01 B 7/30  
G 01 L 3/10  
5/22  
H 02 K 24/00

マークド(参考)

1 0 1 U 2 F 0 5 1  
1 0 1 A 2 F 0 6 3  
B 2 F 0 7 7

審査請求 未請求 請求項の数 6 O.L (全 18 頁)

(21)出願番号

特願2001-161702(P2001-161702)

(22)出願日

平成13年5月30日 (2001.5.30)

(71)出願人 000003207

トヨタ自動車株式会社  
愛知県豊田市トヨタ町1番地

(72)発明者 西原 彰男

愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内

(74)代理人 100088971

弁理士 大庭 咲夫 (外1名)

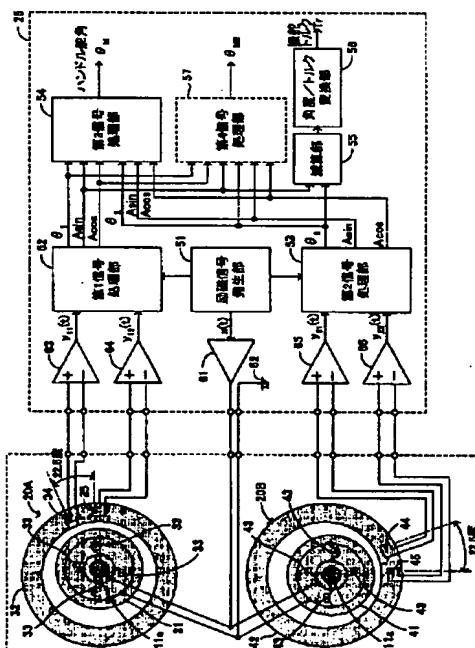
F ターム(参考) 2F051 AA01 AB05 AC01 BD03  
2F063 AA35 AA36 BA08 CA09 DA05  
GA22 GA38  
2F077 AA25 CC02 FF34 PP26 TT82  
VV01

(54)【発明の名称】 レゾルバ及び回転角検出装置

(57)【要約】

【課題】 回転軸の回転角を広範囲にわたって精度よく検出するとともに、回転軸に作用しているトルクも検出する。

【解決手段】 レゾルバ20A, 20Bは、一方を90度回転させた状態で、トーションバーの両端にそれぞれ組付けられている。レゾルバ20A, 20Bは、励磁信号発生部51からの一定振幅の励磁信号によって励磁され、ロータ31, 41の回転に応じて小さな周期及び大きな周期で2重に振幅変調された各一对の信号をそれぞれ出力する。信号処理部52, 53は、トーションバーの上下端の90度ごとの回転角を0~360度わたって変化する電気角としてそれぞれ計算する。信号処理部54は、トーションバーの回転角を低精度の機械角として計算し、同機械角を電気角で補正して、広範囲の回転角を精度よく計算する。減算部55及び角度/トルク変換部56は、両電気角の差によりトルクを計算する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】回転軸の外周上に同回転軸と一体回転するように組付けたロータと、複数の巻線を有していて内周面を前記ロータの外周面に対向させてなる環状のステータとを備え、前記ロータの前記ステータに対する回転角を検出するためのレゾルバにおいて、

前記ロータの外周面を周方向に沿って半径が周期的に変化する凹凸を有するように形成し、かつ前記ロータの回転中心を前記ステータの中心から偏心させたことを特徴とするレゾルバ。

【請求項2】回転軸の外周上に同回転軸と一体回転するように組付けたロータと、複数の巻線を有していて内周面を前記ロータの外周面に対向させてなる環状のステータとを備え、前記ロータの前記ステータに対する回転角を検出するためのレゾルバにおいて、

一定の振幅を有する交流信号からなる励磁信号の付与により、前記ロータの回転に応じて小さな周期で振幅変調されているとともに、前記小さな周期よりも大きな周期でさらに振幅変調されていて、前記小さな周期の振幅変化の位相が異なる一对のレゾルバ。

【請求項3】回転軸の外周上に同回転軸と一体回転するように組付けた第1ロータ、及び複数の巻線を有していて内周面を前記第1ロータの外周面に対向させてなる環状の第1ステータからなり、一定の振幅を有する交流信号からなる励磁信号の付与により、前記第1ロータの回転に応じて小さな周期で振幅変調されているとともに、前記小さな周期よりも大きな周期でさらに振幅変調されていて、前記小さな周期の振幅変化の位相が異なる一对の第1出力信号を発生する第1レゾルバと、前記回転軸の外周上であって前記第1ロータと軸線方向に所定距離だけ隔てた位置に同回転軸と一体回転するように組付けた第2ロータ、及び複数の巻線を有していて内周面を前記第2ロータの外周面に対向させてなる環状の第2ステータからなり、一定の振幅を有する交流信号からなる励磁信号の付与により、前記第2ロータの回転に応じて小さな周期で振幅変調されているとともに、前記小さな周期よりも大きな周期でさらに振幅変調されていて、前記小さな周期の振幅変化の位相が異なる一对の第2出力信号を発生する第2レゾルバとを備え、

前記第1出力信号の大きな周期の振幅変化と前記第2出力信号の大きな周期の振幅変化との位相を異ならせるように、前記第1レゾルバと前記第2レゾルバとを配置したことを特徴とする回転角検出装置。

【請求項4】前記請求項3に記載した回転角検出装置において、

前記一定の振幅を有する交流信号からなる励磁信号を発生して前記第1レゾルバ及び第2レゾルバを共通に励磁する励磁信号発生手段と、

前記第1レゾルバの一対の第1出力信号に基づいて前記

回転軸の第1回転角を計算する第1回転角計算手段と、前記第1レゾルバによる一対の第1出力信号のうちの少なくとも一方と、前記第2レゾルバによる一対の第2出力信号のうちの少なくとも一方とに基づいて前記回転軸の第2回転角を計算する第2回転角計算手段と、

前記計算された第1回転角及び第2回転角を用い、前記回転軸の回転角の大まかな範囲を同第2回転角により決定するとともに前記大まかな範囲内の細かな回転角を同第1回転角により決定して、前記回転軸の第3回転角を計算する第3回転角計算手段とを設けたことを特徴とする回転角検出装置。

【請求項5】回転軸の外周上に同回転軸と一体回転するように組付けた第1ロータ、及び複数の巻線を有していて内周面を前記第1ロータの外周面に対向させてなる環状の第1ステータからなり、一定の振幅を有する交流信号からなる励磁信号の付与により、前記第1ロータの回転に応じて小さな周期で振幅変調されているとともに、前記小さな周期よりも大きな周期でさらに振幅変調されていて、前記小さな周期の振幅変化の位相が異なる一对の第1出力信号を発生する第1レゾルバと、

前記回転軸の外周上であって前記第1ロータと軸線方向に所定距離だけ隔てた位置に同回転軸と一体回転するように組付けた第2ロータ、及び複数の巻線を有していて内周面を前記第2ロータの外周面に対向させてなる環状の第2ステータからなり、一定の振幅を有する交流信号からなる励磁信号の付与により、前記第2ロータの回転に応じて小さな周期で振幅変調されているとともに、前記小さな周期よりも大きな周期でさらに振幅変調されていて、前記小さな周期の振幅変化の位相が異なる一对の第2出力信号を発生する第2レゾルバとを備えるとともに、

前記第1レゾルバと第2レゾルバとの間に位置する前記回転軸の一部又は全部を軸線回りの回転力により捩れを伴って回転するトーションバーで構成し、

前記第1出力信号の大きな周期の振幅変化と前記第2出力信号の大きな周期の振幅変化との位相を異ならせるように、前記第1レゾルバと前記第2レゾルバとを配置してなり、かつ前記一定の振幅を有する交流信号からなる励磁信号を発生して前記第1レゾルバ及び第2レゾルバを共通に励磁する励磁信号発生手段と、

前記第1レゾルバの一対の第1出力信号に基づいて同第1レゾルバの組付け位置における前記回転軸の第1回転角を計算する第1回転角計算手段と、

前記第2レゾルバの一対の第2出力信号に基づいて同第2レゾルバの組付け位置における前記回転軸の第2回転角を計算する第2回転角計算手段と、

前記第1レゾルバによる一対の第1出力信号のうちの少なくとも一方と、前記第2レゾルバによる一対の第2出力信号のうちの少なくとも一方とに基づいて前記回転軸の第3回転角を計算する第3回転角計算手段と、

前記第1レゾルバの一対の第1出力信号に基づいて前記

前記計算された第1回転角及び第3回転角を用い、前記回転軸の回転角の大まかな範囲を同第3回転角により決定するとともに前記大まかな範囲内の細かな回転角を同第1回転角により決定して、前記回転軸の第4回転角を計算する第4回転角計算手段と、

前記計算された第1回転角及び第2回転角の差を計算して前記回転軸における前記第1レゾルバ及び第2レゾルバの各組付け位置の回転角の差を計算する回転角差計算手段とを設けたことを特徴とする回転角検出装置。

【請求項6】回転軸の外周上に同回転軸と一体回転するように組付けた第1ロータ、及び複数の巻線を有していて内周面を前記第1ロータの外周面に対向させてなる環状の第1ステータからなり、一定の振幅を有する交流信号からなる励磁信号の付与により、前記第1ロータの回転に応じて小さな周期で振幅変調されているとともに、前記小さな周期よりも大きな周期でさらに振幅変調されていて、前記小さな周期の振幅変化の位相が異なる一対の第1出力信号を発生する第1レゾルバと、前記回転軸の外周上であって前記第1ロータと軸線方向に所定距離だけ離れた位置に同回転軸と一体回転するように組付けた第2ロータ、及び複数の巻線を有していて内周面を前記第2ロータの外周面に対向させてなる環状の第2ステータからなり、一定の振幅を有する交流信号からなる励磁信号の付与により、前記第2ロータの回転に応じて小さな周期で振幅変調されているとともに、前記小さな周期よりも大きな周期でさらに振幅変調されていて、前記小さな周期の振幅変化の位相が異なる一対の第2出力信号を発生する第2レゾルバとを備えるとともに、

前記第1レゾルバと第2レゾルバとの間に位置する前記回転軸の一部又は全部を軸線回りの回転力により捩れを伴って回転するトーションバーで構成し、

前記第1出力信号の大きな周期の振幅変化と前記第2出力信号の大きな周期の振幅変化との位相を異ならせるように、前記第1レゾルバと前記第2レゾルバとを配置してなり、かつ前記一定の振幅を有する交流信号からなる励磁信号を発生して前記第1レゾルバ及び第2レゾルバを共通に励磁する励磁信号発生手段と、

前記第1レゾルバの一対の第1出力信号に基づいて同第1レゾルバの組付け位置における前記回転軸の第1回転角を計算する第1回転角計算手段と、

前記第2レゾルバの一対の第2出力信号に基づいて同第2レゾルバの組付け位置における前記回転軸の第2回転角を計算する第2回転角計算手段と、

前記第1レゾルバによる一対の第1出力信号のうちの少なくとも一方と、前記第2レゾルバによる一対の第2出力信号のうちの少なくとも一方とに基づいて前記回転軸の第3回転角を計算する第3回転角計算手段と、

前記計算された第1回転角及び第3回転角を用い、前記回転軸の回転角の大まかな範囲を同第3回転角により決

定するとともに前記大まかな範囲内の細かな回転角を同第1回転角により決定して、前記回転軸の第4回転角を計算する第4回転角計算手段と、

前記計算された第1回転角及び第2回転角の差に基づいて前記回転軸に作用しているトルクを計算するトルク計算手段とを設けたことを特徴とする回転角検出装置。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、回転軸に固定されたロータ及び同ロータを内周面上に収容した環状のステータからなるレゾルバ、及び同レゾルバを用いて回転軸の回転角を検出する回転角検出装置に関する。

##### 【0002】

【従来の技術及びその問題点】従来から、回転軸の外周上に同回転軸と一体回転するように組付けたロータと、複数の巻線を有していて内周面をロータの外周面に対向させてなる環状のステータとを備え、ロータ及び回転軸のステータに対する回転角を検出するためのレゾルバはよく知られている。しかし、このような一つのレゾルバ

を用いて、ロータ及び回転軸のステータに対する広範囲（例えば、0～360度）の機械角（実際の回転角）を検出しようとすると、電気角と機械角を一致させるために、検出精度が悪化するという問題がある。

【0003】この問題を解決するために、例えば特公平8-16616号公報には、回転軸に直接組付けられた第1レゾルバと、回転角を比例させて変更するための歯車機構を介して回転軸に接続された第2レゾルバとを設けた回転角検出装置が示されている。この回転角検出装置においては、回転軸が1回転すると第1レゾルバのロ

ータが1回転し、かつ回転軸が1、2回転すると第2レゾルバのロータが1回転するようによくしている。そして、これらの異なる回転周期を用いて大きな回転範囲にわたる回転軸の回転角を精度よく検出するようによくしている。しかし、この装置においては、回転数を変換するための歯車機構を有するために、全体装置の構成が複雑になる。

##### 【0004】

【発明の概要】本発明は、上記した問題に対処するためになされたものであり、その目的は、簡単な構成で、広範囲の回転角を精度よく検出することが可能な回転角検出装置を提供するとともに、同装置に好適なレゾルバを提供することにある。

【0005】上記目的を達成するために、本発明の構成上の特徴の一つは、回転軸の外周上に同回転軸と一体回転するように組付けたロータと、複数の巻線を有していて内周面をロータの外周面に対向させてなる環状のステータとを備え、ロータのステータに対する回転角を検出するためのレゾルバにおいて、ロータの外周面を周方向に沿って半径が周期的に変化する凹凸を有するように形成し、かつロータの回転中心をステータの中心から偏心

させたことにある。

【0006】また、この特徴を別の観点から捉えると、回転軸の外周上に同回転軸と一体回転するように組付けたロータと、複数の巻線を有していて内周面をロータの外周面に対向させてなる環状のステータとを備え、ロータのステータに対する回転角を検出するためのレゾルバにおいて、一定の振幅を有する交流信号からなる励磁信号の付与により、ロータの回転に応じて小さな周期で振幅変調されているとともに、前記小さな周期よりも大きな周期でさらに振幅変調されていて、前記小さな周期の振幅変化の位相が異なる一対の出力信号を発生するよう構成したことにある。この小さな周期の振幅変化における位相差は、例えば、電気角で $\pi/2$ とするとよい。

【0007】このように構成したレゾルバを、次に示すような回転角検出装置に用いることにより、同回転角検出装置を簡単に構成できて好適である。

【0008】また、本発明の他の構成上の特徴は、前記のように構成されたレゾルバを一対備えた回転角検出装置にもあり、この場合、一方のレゾルバのロータ及びステータを第1ロータ及び第1ステータとするとともに前記一対の出力信号を第1出力信号とし、他方のレゾルバのロータ及びステータを第2ロータ及び第2ステータとするとともに前記一対の出力信号を第2出力信号とし、第2レゾルバの第2ロータを回転軸の外周上であって第1ロータと軸線方向に所定距離だけ隔てた位置に同回転軸と一体回転するように組付けるとともに、第1出力信号の大きな周期の振幅変化と第2出力信号の大きな周期の振幅変化との位相を異ならせるように、第1レゾルバと第2レゾルバとを配置したことにある。この大きな周期の振幅変化における位相差は、例えば、機械角（電気角も同じ）で $\pi/2$ とするとよい。

【0009】このように構成した回転角検出装置は、次のような電気回路装置により、回転軸の回転角、トーションバーを含む回転軸の回転角の差及び同差に応じて計算されるトルクを検出するのに好適である。

【0010】また、本発明の構成上の特徴は、前記レゾルバ及び回転角検出装置に接続された電気回路装置をも含む回転角検出装置にもあり、この電気回路装置は、例えば、一定の振幅を有する交流信号からなる励磁信号を発生して第1レゾルバ及び第2レゾルバを共通に励磁する励磁信号発生手段と、第1レゾルバの一対の第1出力信号に基づいて回転軸の第1回転角を計算する第1回転角計算手段と、第1レゾルバによる一対の第1出力信号のうちの少なくとも一方と、第2レゾルバによる一対の第2出力信号のうちの少なくとも一方に基づいて回転軸の第2回転角を計算する第2回転角計算手段と、前記計算された第1回転角及び第2回転角を用い、回転軸の回転角の大まかな範囲を同第2回転角により決定するとともに前記大まかな範囲内の細かな回転角を第1回転角により決定して、回転軸の第3回転角を計算する第3回

転角計算手段とを有する。

【0011】これによれば、第1回転角計算手段は、回転軸の回転に応じて小さな周期で振幅変調されていて、かつこの振幅変化の位相が異なる一対の第1出力信号に基づいて、回転軸の回転角の狭い範囲内の角度変化（例えば、これは電気角に相当する）を $0 \sim 360$ 度にわたって変化する第1回転角として小さな分解能で計算する。一方、第2回転角計算手段は、回転軸の回転に応じて大きな周期で振幅変調されていて、かつこの振幅変化の位相が異なる一対の出力信号（一対の第1及び第2出力信号のうちの少なくとも各一方）に基づいて、回転軸の回転角の広い範囲内の角度変化（例えば、これは機械角に相当する）を $0 \sim 360$ 度にわたって変化する第2回転角として大きな分解能で計算する。そして、第3回転角計算手段は、回転軸の回転角の大まかな範囲を第2回転角により決定するとともに前記大まかな範囲内の細かな回転角を第1回転角により決定して、回転軸の第3回転角を計算する。したがって、計算された第3回転角は、広い範囲内にわたって変化する角度を小さな分解能で表したものとなる。なお、この第3回転角の計算は、広範囲にわたるが高い精度でない第2回転角の精度を、狭い範囲ではあるが高精度の第1回転角で補正する計算である。

【0012】この場合、前記従来技術のように、回転軸の回転角を比例させて変更するための歯車機構のような複雑な機構を用いることなく、前述した同一構成の一対のレゾルバの配置角度を異ならせるだけですみ、簡単な構成で、回転軸の実際の回転角（機械角）を広範囲にわたって精度よく検出できるようになる。

【0013】また、本発明の他の構成上の特徴は、前記回転角検出装置の構成に加えて、第1レゾルバと第2レゾルバとの間に位置する回転軸の一部又は全部を軸線回りの回転力により捩れを伴って回転するトーションバーで構成しておき、第2レゾルバの一対の第2出力信号に基づいて同第2レゾルバの組付け位置における回転軸の回転角を計算する回転角計算手段、並びに第1レゾルバの組付け位置における前記計算された回転軸の回転角（前記第1回転角に相当）と、第2レゾルバの組付け位置における前記計算された回転軸の回転角との差を計算して、回転軸における第1レゾルバ及び第2レゾルバの各組付け位置の回転角の差を計算する回転角差計算手段を設けたことにある。

【0014】これにより、回転軸の回転角を広範囲にわたって精度よく検出する回転角検出装置に、第2レゾルバの組付け位置における回転軸の回転角を計算する回転角計算手段を付加するとともに、回転角差計算手段を付加するだけで、第1レゾルバ及び第2レゾルバの各組付け位置の回転角の差を検出できるようになる。したがって、簡単な構成で、回転軸の回転角を広範囲にわたって精度よく検出できるとともに、トーションバーを挟む2

箇所の回転軸の回転角の差をも検出できるようになる。

【0015】また、前記回転角の差はトーションバーの捩れに起因し、同回転角の差はトーションバー及び回転軸に作用するトルクに対応している。したがって、前記回転角差計算手段を、第1レゾルバの組付け位置における前記計算された回転軸の回転角（前記第1回転角に相当）と、第2レゾルバの組付け位置における前記計算された回転軸の回転角との差に基づいて回転軸（トーションバー）に作用しているトルクを計算するトルク計算手段で置換すれば、前記トルクを計算することもできる。

【0016】これにより、回転軸の回転角を広範囲にわたって精度よく検出する回転角検出装置に、第2レゾルバの組付け位置における回転軸の回転角を計算する回転角計算手段を付加するとともに、トルク計算手段を付加するだけで、回転軸（トーションバー）に作用するトルクを検出できるようになる。したがって、簡単な構成で、回転軸の回転角を広範囲にわたって精度よく検出できるとともに、回転軸（トーションバー）に作用するトルクをも検出できるようになる。そして、この回転角検出装置を車両の操舵装置に適用すれば、操舵角及び操舵トルクを簡単な構成で同時に検出できるようになり、極めて有効である。

【0017】

【発明の実施の形態】本発明の一実施形態を図面を用いて説明すると、図1は本発明に係る回転角検出装置を車両の操舵装置に適用した例を概略的に示している。

【0018】この操舵装置は、操舵ハンドル10を備えている。操舵ハンドル10は操舵軸11の上端に固定されて、同ハンドル10の回転は操舵軸11及びタイロッド12を介して操舵輪13a, 13bに伝達されるようになっている。操舵軸11とタイロッド12は図示しないラックアンドピニオンにより連結され、操舵軸11の回転がタイロッド12の軸線方向の直線運動に変換される。操舵輪13a, 13bは、図示しないナックルアームを介してタイロッド12の両端にそれぞれ接続されており、タイロッド12の軸線方向の変位に応じて左右に操舵される。したがって、操舵ハンドル10が回動されるとと、操舵輪13a, 13bがこの回動に応じて操舵される。

【0019】本発明に係る回転角検出装置は、この操舵ハンドル10及び操舵軸11の回転角（以下、操舵角 $\theta_h$ という）を検出し、また操舵ハンドル10及び操舵軸11に付与されるトルク（以下、操舵トルク $T_r$ という）を検出するものである。なお、この検出された操舵角 $\theta_h$ 及び操舵トルク $T_r$ は、車両の各種制御に利用されるものであるが、この制御については本発明に直接関係しないので説明を省略する。

【0020】操舵軸11の中間部は、トーションバー11aを含む。トーションバー11aの上端には第1レゾルバ20Aが組付けられ、トーションバー11aの下端

には第2レゾルバ20Bが組付けかれている。これらのレゾルバ20A, 20Bには電気回路装置25が接続され、電気回路装置25はレゾルバ20A, 20Bとの協働により、操舵角 $\theta_h$ を検出するとともに、トーションバー11aの上下端の回転角（電気角） $\theta_1, \theta_2$ の差を用いて操舵トルク $T_r$ を検出する。この場合、電気回路装置25は第1及び第2レゾルバ20A, 20Bを励磁するとともに、各ロータ21の回転に伴って変調された信号を入力して、同入力した信号を用いた演算処理により操舵角 $\theta_h$ 、操舵トルク $T_r$ などを計算する。

【0021】第1及び第2レゾルバ20A, 20Bは、図1及び図2に示すように、円筒状のロータ21及び環状のステータ22からそれぞれなる。第1レゾルバ20Aにおいては、ロータ21がトーションバー11aの上端にてその外周面上に固定されており、ステータ22はロータ21の外周上に離隔して同ロータ21の外周面が内周面に對向するように設けられている。第2レゾルバ20Bにおいても、ロータ21がトーションバー11aの下端にてその外周面上に固定されており、ステータ22はロータ21の外周上に離隔して同ロータ21の外周面が内周面に對向するように設けられている。なお、ステータ22は、車体側に固定されている。

【0022】第1及び第2レゾルバ20A, 20Bの各ロータ21は同一形状に形成されており、各ロータ21の外周面は、その半径が周方向に沿って周期的に滑らかに（具体的には正弦波状に）変化するような凹凸を有する形状となっている。本実施形態においては、各ロータ21の外周面は90度の周期をもった凹凸に形成されている。そして、各ロータ21の回転中心O1, O2は、各ステータ22の中心O1', O2'に対して所定距離 $\Delta d$ だけそれぞれ偏心している。ただし、第1レゾルバ20Aにおける前記回転中心O1の偏心方向と、第2レゾルバ20Bの前記回転中心O1の偏心方向とが所定角度（本実施形態では90度）だけ異なるように、両レゾルバ20A, 20Bはトーションバー11aにそれぞれ組付けられている。

【0023】第1及び第2レゾルバ20A, 20Bの各ステータ22には、周方向に沿って等間隔に複数の巻線23が設けられている。これらの巻線23においては、いずれかは励磁巻線として機能し、いずれかは正弦波相巻線として機能し、またいずれかは余弦波相巻線として機能する。そして、第1及び第2レゾルバ20A, 20Bにおいて、励磁巻線に正弦波信号を与えて、各ロータ21を各ステータ22に対して回転させると、第1及び第2レゾルバ20A, 20Bの各正弦波相巻線からは図9の正弦波相信号 $y_{11}(t), y_{21}(t)$ がそれぞれ出力される。また、第1及び第2レゾルバ20A, 20Bの各余弦波相巻線からは図9の余弦波相信号 $y_{12}(t), y_{22}(t)$ がそれぞれ出力される。

【0024】ここで注目すべき点は、ロータ21の外周

面の周期的な凹凸のために、各正弦波相信号  $y_{11}(t)$ ,  $y_{21}(t)$  及び各余弦波相信号  $y_{12}(t)$ ,  $y_{22}(t)$  の振幅が各ロータ21の45度 ( $\pi/4$ ) の回転角ごとに変化していることである。また、各正弦波相信号  $y_{11}(t)$ ,  $y_{21}(t)$  及び各余弦波相信号  $y_{12}(t)$ ,  $y_{22}(t)$ においては、それらの位相が  $\pi/4$  ごとに互いに逆相になっている。本実施形態においては、この互いに位相の異なる信号の一方の位相は励磁信号と同位相の関係にあり、他方の位相は励磁信号と逆相の関係にある。この位相の異なることも含めて、各信号  $y_{11}(t)$ ,  $y_{21}(t)$ ,  $y_{12}(t)$ ,  $y_{22}(t)$  の振幅の変化を表す振幅変化信号  $E_{11}(t)$ ,  $E_{21}(t)$ ,  $E_{12}(t)$ ,  $E_{22}(t)$  を図9に実線で示している。なお、この振幅変化信号  $E_{11}(t)$ ,  $E_{21}(t)$ ,  $E_{12}(t)$ ,  $E_{22}(t)$  は、正弦波状に正負に変化するものである。そして、これらの振幅変化信号  $E_{11}(t)$ ,  $E_{21}(t)$ ,  $E_{12}(t)$ ,  $E_{22}(t)$  の位相と、振幅変化信号  $E_{11}(t)$ ,  $E_{21}(t)$ ,  $E_{12}(t)$ ,  $E_{22}(t)$  を基準にすると、互いに  $\pi/2$  だけずれている。

【0025】なお、前記  $\pi/2$  のような振幅変化信号  $E_{11}(t)$ ,  $E_{21}(t)$ ,  $E_{12}(t)$ ,  $E_{22}(t)$  を基準にした角度を電気角という。一方、ロータ21のステータ22に対する実際の回転角を機械角という。したがって、本実施形態においては、電気角の  $2\pi$  (360度) は、機械角の  $\pi/4$  (90度) に相当する。

【0026】また、他の注目すべき点は、各ロータ21の回転中心O1, O2の偏心のために、各振幅変化信号  $E_{11}(t)$ ,  $E_{21}(t)$ ,  $E_{12}(t)$ ,  $E_{22}(t)$  がさらにロータ21の回転位置に応じて、すなわちロータ21の1回転を周期として振幅変調されている。そして、第1レゾルバ20Aにおけるロータ21の回転中心O1の偏心方向と、第2レゾルバ20Bにおけるロータ21の回転中心O1の偏心方向とをずらしたことにより（本実施形態では90度 ( $\pi/2$ ) ずらしたことにより）、振幅変化信号  $E_{11}(t)$ ,  $E_{21}(t)$  の各振幅変化を表す振幅変化信号  $E_{11}(t)$ ,  $E_{21}(t)$  の各位相は、前記偏心方向のずれ量に対応した位相だけ（本実施形態では  $\pi/2$  だけ）ずれている。これらの振幅変化信号  $E_{11}(t)$ ,  $E_{21}(t)$  を図9に破線で示している。なお、この振幅変化信号  $E_{11}(t)$ ,  $E_{21}(t)$  の関係は、振幅変化信号  $E_{12}(t)$ ,  $E_{22}(t)$  間の関係にも成立する。

【0027】このように、本実施形態においては、第1及び第2レゾルバ20A, 20Bにおける各ロータ21の外周形状を前記周方向に沿って凹凸を付与したものにすると同時に、各ロータ21の回転中心O1, O2をステータ22の中心O1', O2'に対して偏心させることを特徴としている。また、このような第1及び第2レゾルバ20A, 20Bに正弦波信号を励磁信号として印加することにより、小さな周期（例えば、 $\pi/2$ ）及び大きな周期（例えば、 $2\pi$ ）を有する2重に振幅変調された

出力信号（正弦波相信号及び余弦波相信号）  $y_{11}(t)$ ,  $y_{21}(t)$ ,  $y_{12}(t)$ ,  $y_{22}(t)$  を得ることも特徴としている。

【0028】また、第1レゾルバ20Aにおけるロータ21の回転中心O1の偏心方向と、第2レゾルバ20Bにおけるロータ21の回転中心O2の偏心方向とを異ならせたことも特徴としている。そして、これにより、前記2重に振幅変調された出力信号  $y_{11}(t)$ ,  $y_{21}(t)$  （又は、 $y_{12}(t)$ ,  $y_{22}(t)$ ）の各大きな周期の振幅変化において、振幅が異なる位相で変化するようしている。

【0029】そして、以下に、これらの正弦波相信号  $y_{11}(t)$ ,  $y_{21}(t)$  及び余弦波相信号  $y_{12}(t)$ ,  $y_{22}(t)$  を用いた電気回路装置25の演算処理について詳しく説明する。図3は、第1及び第2レゾルバ20A, 20Bを含むセンサ装置と、電気回路装置25とを概略図により示している。

【0030】この図3では、第1及び第2レゾルバ20A, 20Bは、前述した構成のレゾルバを等価的に示しており、第1レゾルバ20Aは、ロータ21に対応したロータ31及びステータ22に対応したステータ32を備えている。ロータ31には、ロータ21の回転に伴って  $\pi/2$  ごとに周期的に変化する回転磁界を発生するための励磁用コイル33が設けられている。ステータ32には、正弦波相信号  $y_{11}(t)$  を出力するための正弦波相用コイル34、及び余弦波相用コイル35が設けられている。また、第2レゾルバ20Bも、同様に、前記ロータ21及びステータ22に対応したロータ41及びステータ42を備えているとともに、ロータ41には励磁用コイル43が設けられている。また、ステータ42には、正弦波相信号  $y_{21}(t)$  を出力するための正弦波相用コイル44、及び余弦波相用コイル45が設けられている。

【0031】なお、この図3においては、前述した第1及び第2レゾルバ20A, 20Bにおける各ロータ21の外周形状の凹凸に関しては、励磁用コイル33, 43を4個ずつ設けることにより表している。前記第1及び第2レゾルバ20A, 20Bにおける各ロータ21の回転中心O1, O2の偏心に関しては、各ロータ31, 41の各ステータ32, 42に対する偏心により表している。第1及び第2レゾルバ20A, 20Bにおける各ロータ21の回転中心O1, O2の偏心方向のずれを、正弦波相用コイル34及び余弦波相用コイル35に対する正弦波相用コイル44及び余弦波相用コイル45の周方向位置の相違により表している。

【0032】電気回路装置25は、励磁信号発生部51、第1信号処理部52、第2信号処理部53、第3信号処理部54、減算部55及び角度/トルク変換部56を有する。これらの各部51～56は、各種機能を実現

するための機能ブロックであるが、実際にはマイクロコンピュータのプログラム処理により各種機能が実現される。

【0033】第1及び第2レゾルバ20A, 20Bの各4個の励磁用コイル33, 43の各両端は、バッファアンプ61の出力端とアース62との間に接続線を介して接続されており、励磁用コイル33, 43には、励磁信号発生部51からバッファアンプ61を介して出力された励磁信号 $x(t) = A_o \cdot \sin(2\pi f t)$ がそれぞれ印加される。

【0034】第1レゾルバ20Aの正弦波相用コイル34の両端は差動アンプ63の両入力端に接続線を介して接続されており、正弦波相用コイル34に誘起された第1正弦波信号 $y_{11}(t)$ が差動アンプ63を介して第1信号処理部52に供給されるようになっている。第1レゾルバ20Aの余弦波相用コイル35の両端は差動アンプ64の両入力端に接続線を介して接続されており、余弦波相用コイル35に誘起された第1余弦波信号 $y_{12}(t)$ が差動アンプ64を介して第1信号処理部52に供給されるようになっている。

【0035】この場合、第1レゾルバ20Aにおけるロータ31のステータ32に対する機械角を $\theta_1$ とするとともに電気角を $\theta_1$ とすると、第1正弦波信号 $y_{11}(t)$ 及び第1余弦波信号 $y_{12}(t)$ は、 $Ax1 \cdot A_o \cdot (E_o + \sin\theta_1) \cdot \sin\theta_1 \cdot \sin(2\pi f t + \psi_1)$ 及び $Ax2 \cdot A_o \cdot (E_o + \sin\theta_1) \cdot \cos\theta_1 \cdot \sin(2\pi f t + \psi_1)$ を含む信号となる。すなわち、直流ドリフト分、高調波ノイズなど不要な成分を含まなければ、 $y_{11}(t) = Ax1 \cdot A_o \cdot (E_o + \sin\theta_1) \cdot \sin\theta_1 \cdot \sin(2\pi f t + \psi_1)$ ,  $y_{12}(t) = Ax2 \cdot A_o \cdot (E_o + \sin\theta_1) \cdot \cos\theta_1 \cdot \sin(2\pi f t + \psi_1)$ となる。なお、 $\psi_1$ は、基準正弦波信号 $A_o \cdot \sin 2\pi f t$ に対する第1正弦波信号 $y_{11}(t)$ 及び第1余弦波信号 $y_{12}(t)$ の位相のずれ量を示す。

【0036】第2レゾルバ20Bの正弦波相用コイル44の両端は差動アンプ65の両入力端に接続線を介して接続されており、正弦波相用コイル44に誘起された第2正弦波信号 $y_{21}(t)$ が差動アンプ65を介して第2信号処理部53に供給されるようになっている。第2レゾルバ20Bの余弦波相用コイル45の両端は差動アンプ66の両入力端に接続線を介して接続されており、余弦波相用コイル45に誘起された第2余弦波信号 $y_{22}(t)$ が差動アンプ66を介して第2信号処理部53に供給されるようになっている。

【0037】この場合、第2レゾルバ20Bにおけるロータ41のステータ42に対する機械角を $\theta_2$ とするとともに電気角を $\theta_2$ とすると、第2正弦波信号 $y_{21}(t)$ 及び第2余弦波信号 $y_{22}(t)$ は、 $Ax1 \cdot A_o \cdot (E_o + \cos\theta_2) \cdot \sin\theta_2 \cdot \sin(2\pi f t + \psi_2)$ 及び $Ax2 \cdot A_o \cdot (E_o + \cos\theta_2) \cdot \cos\theta_2 \cdot \sin(2\pi f t + \psi_2)$ を含む信号となる。すなわち、直流ドリフト分、高調波ノイズなど

不要な成分を含まなければ、 $y_{21}(t) = Ax1 \cdot A_o \cdot (E_o + \cos\theta_2) \cdot \sin\theta_2 \cdot \sin(2\pi f t + \psi_2)$ ,  $y_{22}(t) = Ax2 \cdot A_o \cdot (E_o + \cos\theta_2) \cdot \cos\theta_2 \cdot \sin(2\pi f t + \psi_2)$ となる。なお、 $\psi_2$ は、基準正弦波信号 $A_o \cdot \sin 2\pi f t$ に対する第2正弦波信号 $y_{21}(t)$ 及び第2余弦波信号 $y_{22}(t)$ の位相のずれ量を示す。

【0038】第1及び第2信号処理部52, 53は、詳しくは後述するように、前記入力信号 $y_{11}(t)$ ,  $y_{12}(t)$ ,  $y_{21}(t)$ ,  $y_{22}(t)$ を用いて、第1及び第2レゾルバ20A, 20Bの各ロータ31, 41の各ステータ32, 42に対する各電気角 $\theta_1$ ,  $\theta_2$ をそれぞれ計算するものである。第3信号処理部54は、詳しくは後述するように、前記電気角を $\theta_1$ ,  $\theta_2$ 及び第1及び第2信号処理部52, 53にて前記電気角 $\theta_1$ ,  $\theta_2$ の計算過程で算出される振幅値 $Ax1 \cdot A_o \cdot (E_o + \sin\theta_1) \cdot \sin\theta_1$ ,  $Ax1 \cdot A_o \cdot (E_o + \cos\theta_1) \cdot \sin\theta_1$ を用いて、第1レゾルバ20Aのロータ31のステータ32に対する機械角 $\theta_1$ すなわちハンドル舵角 $\theta_h$ を計算するものである。

【0039】第1及び第2信号処理部52, 53による各検出電気角 $\theta_1$ ,  $\theta_2$ は減算器55にそれぞれ供給される。減算器55は、第1信号処理部52による検出電気角 $\theta_1$ から第2信号処理部53による検出電気角 $\theta_2$ を減算して、減算結果 $\theta_1 - \theta_2$ を出力する。この場合、第1レゾルバ20Aの機械角と第2レゾルバの機械角との差が大きくなることはない、すなわちトーションバー11aが90度以上捩れることはないので、前記電気角の差 $\theta_1 - \theta_2$ は機械角の差に等しい。したがって、減算部55は、第1レゾルバ20Aにおけるロータ31のステータ32に対する回転角と第2レゾルバ20Bのロータ41のステータ42に対する回転角との角度差すなわちトーションバー11aの捩れ角度を表す信号を角度/トルク変換部56に供給する。

【0040】角度/トルク変換部56は、トーションバー11aの捩れ角度に対するトルクを表す関数テーブルなどにより構成されて、トーションバー11aの捩れ角度をトルクに変換して操舵軸11に付与されている操舵トルク $T_r$ を表す信号を出力する。

【0041】なお、前記第1及び第2レゾルバ20A, 20Bを有するセンサ装置と、電気回路装置25との間の接続線を減らすために、図3の回路を図4のように変更してもよい。すなわち、各コイル33～35, 43～45の一端を共通の接続線を介して電気回路装置25内のアース62に接続する。また、電気回路装置25内にて、各差動アンプ63～66の各一端を共通にアース62に接続する。

【0042】次に、励磁信号発生部51、第1信号処理部52、第2信号処理部53及び第3信号処理部54について詳細に説明する。励磁信号発生部51は、図5に詳細に示すように、基準クロック発生部100、タイミング信号発生部102、正弦波発生部104及びD/A

変換器106を備えている。

【0043】基準クロック発生部100は、測定の基準となるクロック信号を発生する。タイミング信号発生部102は、前記クロック信号を入力して、各種演算のタイミングを規定する種々のタイミング制御信号を出力する。正弦波発生部104は、 $0 \sim 2\pi$ に渡って正弦波の瞬時値を表す複数のサンプリングデータを、微小角度ずつ増加する位相に対応した複数のアドレスに対応させて記憶した正弦波テーブルを備えており、タイミング信号発生部102からのタイミング制御信号によって制御されて同テーブルに記憶されたサンプリングデータを順次読み出すことにより、デジタル正弦波信号を出力する。D/A変換部106は、正弦波発生部104から出力されたデジタル正弦波信号をD/A変換して、バッファアンプ61を介し励磁信号  $x(t) = A_0 \cdot \sin 2\pi f t$  としてセンサ装置に出力する。

【0044】第1信号処理部52は、A/D変換部200、202を有する。A/D変換部200は、差動アンプ63から入力された第1正弦波相信号  $y_{11}(t)$  を所定レートでサンプリングするとともに、同サンプリングしたアナログ信号をA/D変換して、正弦波係数演算部204及び余弦波係数演算部206に順次出力する。正弦波係数演算部204は、タイミング信号発生部102からのタイミング制御信号によって制御され、前記A/D変換のタイミングのm倍毎に、同A/D変換されたm個のサンプリングデータを用いて、第1正弦波相信号  $y_{11}(t)$  の正弦波成分（図10に示すように、励磁信号  $x(t)$  と同一位相成分）のための基底関数  $\phi_j(t)$  の1次の係数  $C_{11j}$  を計算する。余弦波係数演算部206は、タイミング信号発生部102からのタイミング制御信号によって制御され、前記A/D変換のタイミングのm倍毎に、同A/D変換されたm個のサンプリングデータを用いて、第1正弦波相信号  $y_{11}(t)$  の余弦波成分（図\*

$$y(t) = C_0 \phi_0(t) + C_1 \phi_1(t) + C_2 \phi_2(t) + \cdots + C_n \phi_n(t)$$

【0048】本実施形態の場合、第1正弦波相信号  $y_{11}(t)$  及び第1余弦波相信号  $y_{12}(t)$  は、図11に示すような、共に基本的には周波数  $f$  が既知の正弦波形（余弦波形）であることから、基底関数として正弦波関数  $A \cdot \sin(2\pi f t)$  を想定する。しかし、波形信号  $y(t)$  は、一般的にはこの正弦波関数  $A \cdot \sin(2\pi f t)$  に対して位相ずれを含むものである。図12に示すように、波形信号  $y(t)$  を正弦波成分  $y(t) \cdot \sin \phi$  と余弦波成分  $y(t) \cdot \cos \phi$  に分けて解析する。したがって、基底関数  $\phi_j(t)$  として、正弦波成分のために下記数2及び数3を採用するとともに、余弦波成分のために下記数4を採用する。

【0049】

【数2】

$\phi_0(t) = 1$

\* 10に示すように、励磁信号  $x(t)$  と  $\pi/2$  だけ異なる位相成分）のための基底関数  $\phi_j(t)$  の1次の係数を  $C_{11j}$  計算する。なお、mは、詳しくは後述する比較的大きな正の整数である。

【0045】A/D変換部202は、差動アンプ57から入力された第1余弦波相信号  $y_{12}(t)$  を所定レートでサンプリングするとともに、同サンプリングしたアナログ信号をA/D変換して、正弦波係数演算部208及び余弦波係数演算部210に順次出力する。正弦波係数演算部208は、タイミング信号発生部102からのタイミング制御信号によって制御され、前記A/D変換のタイミングのm倍毎に、同A/D変換されたm個のサンプリングデータを用いて、第1余弦波相信号  $y_{12}(t)$  の正弦波成分（図10に示すように、励磁信号  $x(t)$  と同一位相成分）のための基底関数  $\phi_j(t)$  の1次の係数  $C_{12j}$  を計算する。余弦波係数演算部210は、タイミング信号発生部102からのタイミング制御信号によって制御され、前記A/D変換のタイミングのm倍毎に、同A/D変換されたm個のサンプリングデータを用いて、第1余弦波相信号  $y_{12}(t)$  の余弦波成分（図10に示すように、励磁信号  $x(t)$  と  $\pi/2$  だけ異なる位相成分）のための基底関数  $\phi_j(t)$  の1次の係数  $C_{12j}$  を計算する。

【0046】ここで、基底関数  $\phi_j(t)$  の1次の係数  $C_{11j}$ 、 $C_{12j}$  について説明しておくとともに、それらの計算方法について説明しておく。この基底関数  $\phi_j(t)$  は、最小2乗法において、任意の波形信号  $y(t)$  を下記数1のように近似するために利用される一次独立な関数である。ここで、tは時刻を表し、jは0～nの整数である。

【0047】

【数1】

【0050】

【数3】

$$\phi_j(t) = \sin 2\pi jft \quad (j \geq 1)$$

【0051】

【数4】

$$\phi_j(t) = \cos 2\pi jft \quad (j \geq 0)$$

【0052】まず、図11に示すような波形信号  $y(t)$  の時刻  $t_1$  におけるサンプリング値  $y_1$  と時刻  $t_2$  とを対としてm対の時系列データを採取し、これらに基づいて正弦波成分のための基底関数  $\phi_1(t)$  の各係数  $C_{111}, C_{112}, C_{113}, \dots$  及び余弦波成分のための基底関数  $\phi_1(t)$  の各係数  $C_{121}, C_{122}, C_{123}, \dots$  を計算すると次のとおりである。ただし、本実施形態では、波形信号  $y(t)$  中の周波数  $f$  の成分を解

15

析して、その振幅、位相などを検出するものであるので、高次の高調波に関する係数は不要である。したがって、この場合、 $n = 1$  の場合の係数についてのみ例示する。

【0053】 $n = 1$  の場合の正弦波成分のための基底関数 $\phi_1(t)$ の各係数 $C_{sin}$  ( $C_{sin0}$ ,  $C_{sin1}$ ) 及び余弦\*

$$C_{sin} = \begin{pmatrix} C_{sin0} \\ C_{sin1} \end{pmatrix} = P_{sin}^{-1} Q_{sin} = \frac{1}{|P_{sin}|} \begin{pmatrix} \sum_i^m \sin^2 2\pi f u & -\sum_i^m \sin 2\pi f u \\ -\sum_i^m \sin 2\pi f u & m \end{pmatrix} Q_{sin}$$

【0055】

$$C_{cos} = \begin{pmatrix} C_{cos0} \\ C_{cos1} \end{pmatrix} = P_{cos}^{-1} Q_{cos} = \frac{1}{|P_{cos}|} \begin{pmatrix} \sum_i^m \cos^2 2\pi f u & -\sum_i^m \cos 2\pi f u \\ -\sum_i^m \cos 2\pi f u & m \end{pmatrix} Q_{cos}$$

【0056】ただし、前記数5, 6中の $P_{sin}$ ,  $Q_{sin}$ ,  $P_{cos}$ ,  $Q_{cos}$ は、下記数7~10のとおりである。なお、前記サンプル数 $m$ を基底関数 $\phi_1(t)$ の高調波の次数 $n$ よりも充分に大きくすることにより、計算精度向上させることができる。

【0057】

【数7】

$$P_{sin} = \begin{pmatrix} m & \sum_i^m \sin 2\pi f u \\ \sum_i^m \sin 2\pi f u & \sum_i^m \sin^2 2\pi f u \end{pmatrix}$$

【0058】

【数8】

$$Q_{sin} = \begin{pmatrix} \sum_i^m y_i \\ \sum_i^m y_i \cdot \sin 2\pi f u \end{pmatrix}$$

【0059】

【数9】

$$P_{cos} = \begin{pmatrix} m & \sum_i^m \cos 2\pi f u \\ \sum_i^m \cos 2\pi f u & \sum_i^m \cos^2 2\pi f u \end{pmatrix}$$

【0060】

【数10】

$$Q_{cos} = \begin{pmatrix} \sum_i^m y_i \\ \sum_i^m y_i \cdot \cos 2\pi f u \end{pmatrix}$$

\* 波成分のための基底関数 $\phi_1(t)$ の各係数 $C_{cos}$  ( $C_{cos0}$ ,  $C_{cos1}$ ) は、下記数5, 6のとおりである。

【0054】

【数5】

※ ※ 【数6】

$$\begin{pmatrix} \sum_i^m \cos^2 2\pi f u & -\sum_i^m \cos 2\pi f u \\ -\sum_i^m \cos 2\pi f u & m \end{pmatrix} Q_{cos}$$

【0061】前記説明では、サンプリングの間隔及びサンプリング数 $m$ は任意であったが、この場合には $P^{-1}$ を毎回計算する必要があって面倒である。したがって、簡単のために、サンプリング周波数 $f_s$ を前記想定した正弦波関数 $A \cdot \sin(2\pi f_s t)$ の周波数 $f_s$ （すなわち、前記基底関数 $\phi_1(t)$ の正弦波成分及び余弦波成分の基本波の周波数 $f_s$ ）の整数倍すなわち $f_s = k_s \cdot f$  ( $k_s$ は3以上の整数) とともに、演算周期を前記正弦波関数 $A \cdot \sin(2\pi f_s t)$ の周期の整数倍（1以上の整数である $k_s$ 倍）にすると、サンプリング数 $m$ は $m = k_s \cdot k_s$ のようになる。これらの関係と、三角関数の周期性とから、下記数11~数13が成立する。

【0062】

【数11】

$$\sum_i^m \sin 2\pi f u = 0$$

【0063】

【数12】

$$\sum_i^m \cos 2\pi f u = 0$$

【0064】

【数13】

$$\sum_i^m \sin^2 2\pi f u = \sum_i^m \cos^2 2\pi f u = k_s \sum_i^{k_s} \sin^2 2\pi f u$$

【0065】そして、前記数11~13の関係を用いると、前記数7, 9の $P_{sin}$ ,  $P_{cos}$ はそれぞれ下記数14のように表される。

【0066】

【数14】

17

$$P_{\sin} = P_{\cos} = \begin{pmatrix} m & 0 \\ 0 & \sum_1^m \sin^2 2\pi f u \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} m & 0 \\ 0 & k_t \cdot \sum_i^{k_t} \sin^2 2\pi f u \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} m & 0 \\ 0 & \sum_1^m \cos^2 2\pi f u \end{pmatrix}$$

【0067】さらに、前記数8、10の $Q_{sin}$ 、 $Q_{cos}$ における $\sin(2\pi f t)$ 、 $\cos(2\pi f t)$ の計算においても、 $t$ はすなわちサンプリング周期が等間隔であるので、定数テーブル（正弦波関数テーブル）を参照することにより簡単に行うことができる。その結果、前記計算結果を前記数5、6に代入することにより、前記正弦波成分のための基底関数 $\psi$ （t）の各係数 $C_{sin}$ （ $C_{sin1}$ 、 $C_{sin2}$ ）及び余弦波成分のための基底関数 $\psi$ （t）の各係数 $C_{cos}$ （ $C_{cos1}$ 、 $C_{cos2}$ ）を簡単に計算できるようになる。

【0068】ふたたび、図5の説明に戻ると、正弦波係数演算部204は、前記数5、7、8を用いて、第1正弦波相信号 $y_{11}(t)$ のm個のサンプリングデータに基づいて正弦波係数 $C_{sin1}$ を計算する。余弦波係数演算部206は、前記数6、9、10を用いて、第1正弦波相信号 $y_{11}(t)$ のm個のサンプリングデータに基づいて余弦波係数 $C_{cos1}$ を計算する。なお、これらの正弦波係数演算部204における演算と、余弦波係数演算部206における演算は、同一のサンプリングデータに対して同期して行われる。

【0069】正弦波係数演算部208は、前記数5、7、8を用いて、第1余弦波相信号 $y_{12}(t)$ のm個のサンプリングデータに基づいて正弦波係数 $C_{sin2}$ を計算する。余弦波係数演算部210は、前記数6、9、10を用いて、第1余弦波相信号 $y_{12}(t)$ のm個のサンプリングデータに基づいて余弦波係数 $C_{cos2}$ を計算する。なお、これらの正弦波係数演算部208における演算と、余弦波係数演算部210における演算も、同一のサンプリングデータに対して同期して行われる。

【0070】また、上述のように、第1正弦波相信号 $y_{11}(t)$ 及び第1余弦波相信号 $y_{12}(t)$ の各サンプリング周波数 $f$ （すなわちA/D変換部200、202の各A/D変換の出力周期）と、正弦波係数演算部204、208及び余弦波係数演算部206、210の演算周期とを次のように設定すれば、各係数演算部204～210による各係数 $C_{sin}$ （ $C_{sin1}$ 、 $C_{sin2}$ ）、 $C_{cos}$ （ $C_{cos1}$ 、 $C_{cos2}$ ）の演算処理を簡単にできる。

【0071】この場合、第1正弦波相信号 $y_{11}(t)$ 及び第1余弦波相信号 $y_{12}(t)$ のサンプリング周波数 $f$ を、前記想定した励磁信号 $A_o \cdot \sin(2\pi f t)$ の周波数 $f$ （すなわち、前記基底関数 $\psi$ （t）の正弦波成分及び余弦波成分の基本波の周波数 $f$ ）の整数倍すなわち $f = k \cdot f$ （ただし、 $k$ は3以上の整数）に設定、言い換えれば前記基準正弦波信号 $A_o \cdot \sin(2\pi f t)$ の周期 $1/f$ をA/D変換部200、202の出力周期 $1/f$ の整数倍すなわち $1/f = k \cdot 1/f$ に設定

18

する。また、正弦波係数演算部204、208及び余弦波係数演算部206、210の演算周期を前記正弦波信号 $A_o \cdot \sin(2\pi f t)$ の周期の整数倍（1以上の整数である $k$ 倍）にする。これにより、各係数演算部204～210にて各係数 $C_{sin}$ （ $C_{sin1}$ 、 $C_{sin2}$ ）、 $C_{cos}$ （ $C_{cos1}$ 、 $C_{cos2}$ ）を計算するために利用されるサンプリング数 $m$ は $m = k \cdot k_t$ となる。

【0072】したがって、この場合には、上記数11～13が成立し、前記各係数 $C_{sin}$ （ $C_{sin1}$ 、 $C_{sin2}$ ）、 $C_{cos}$ （ $C_{cos1}$ 、 $C_{cos2}$ ）を計算するための数5、6の $P_{sin}$ 、 $P_{cos}$ は、上記数14によって計算される。このように、サンプリング周波数 $f$ （すなわちA/D変換部200、202のA/D変換の出力周期）と、正弦波係数演算部204、208及び余弦波係数演算部206、210の演算周期とに前記のような制限を設けることは、基準正弦波信号 $A_o \cdot \sin(2\pi f t)$ が既知であるので、簡単に成し得ることである。

【0073】このようにして正弦波係数演算部204及び余弦波係数演算部206にてそれぞれ計算された1次の係数 $C_{sin1}$ 、 $C_{cos1}$ は振幅演算部212に供給される。正弦波係数演算部208及び余弦波係数演算部210にてそれぞれ計算された1次の係数 $C_{sin2}$ 、 $C_{cos2}$ は振幅演算部214に供給される。振幅演算部212、214は、下記数15の演算（係数 $C_{sin1}$ 、 $C_{cos1}$ の各2乗の和の平方根の演算）の実行によって、励磁信号 $A_o \cdot \sin 2\pi f t$ と同一周波数の第1正弦波相信号 $y_{11}(t) = A_{x1} \cdot A_o \cdot (E_o + \sin \theta_o) \cdot \sin(2\pi f t + \psi_o)$ 及び第1余弦波相信号 $y_{12}(t) = A_{x2} \cdot A_o \cdot (E_o + \sin \theta_o) \cdot \cos \theta_o \cdot \sin(2\pi f t + \psi_o)$ の各振幅値 $A_{sin} = A_{x1} \cdot A_o \cdot (E_o + \sin \theta_o) \cdot \sin \theta_o$ 、 $A_{cos} = A_{x2} \cdot A_o \cdot (E_o + \sin \theta_o) \cdot \cos \theta_o$ をそれぞれ計算する。

【0074】

【数15】

$$Ax = \sqrt{C_{sin1}^2 + C_{cos1}^2}$$

【0075】これらの各振幅値 $A_{sin} = A_{x1} \cdot A_o \cdot (E_o + \sin \theta_o) \cdot \sin \theta_o$ 、 $A_{cos} = A_{x2} \cdot A_o \cdot (E_o + \sin \theta_o) \cdot \cos \theta_o$ は、第1レギュラ20Aのロータ31のステータ32に対する電気角 $\theta_1$ を計算するための回転角計算部216に供給される。なお、第1正弦波相用コイル34及び第1余弦波相用コイル35は同一に構成されていて、異常などが発生していないければ、値 $A_{x1}$ 、 $A_{x2}$ は等しい。回転角計算部216は、下記数16の演算の実行により、電気角 $\theta_1$ を計算する。

【0076】

【数16】

19

$$\theta_1 = \tan^{-1} \left( \frac{A \sin}{A \cos} \right) = \tan^{-1} \left( \frac{Ax_1 \cdot Ao \cdot (E_0 + \sin \theta_m) \cdot \sin \theta_1}{Ax_2 \cdot Ao \cdot (E_0 + \sin \theta_m) \cdot \cos \theta_1} \right)$$

【0077】これにより、第1レゾルバ20Aからの第1正弦波信号 $y_{11}(t)$ 及び第1余弦波信号 $y_{12}(t)$ に基づいて、ロータ31のステータ32に対する電気角 $\theta_1$ が検出される。この電気角 $\theta_1$ は、図9に示すように、ロータ31がステータ32に対して90度回転する間に、すなわち機械角90の範囲内で、0~360度にわたって変化する値を表す。この電気角 $\theta_1$ は、第3信号処理部54及び減算部55に供給される。また、振幅演算部212にて計算された振幅値 $A \sin = Ax_1 \cdot Ao \cdot (E_0 + \sin \theta_m) \cdot \sin \theta_1$ も（場合によっては、後述する振幅演算部214にて計算された振幅値 $A \cos = Ax_2 \cdot Ao \cdot (E_0 + \sin \theta_m) \cdot \cos \theta_1$ も）、第3信号処理部54に供給される。

【0078】なお、前記数16において、分母の値が極めて小さくなる場合、振幅値 $A \sin$ ,  $A \cos$ が負の値になる場合などには、前記数16の計算が面倒になる。したがって、下記数17~24に示すように、振幅値 $A \sin$ ,  $A \cos$ の値に応じて異なる演算（ただし、数17~24は前記数16と等価な演算）を実行することにより、電気角 $\theta_1$ の計算を簡単に行うことができる。これらの下記数17~24においては、前記振幅値 $A \sin$ ,  $A \cos$ をそれぞれ $a = A \sin$ ,  $b = A \cos$ とする。

【0079】

【数17】

$$a \geq 0, b \geq 0, |a| < |b| \quad \text{のとき}$$

$$\theta_1 = \tan^{-1}(a/b)$$

【0080】

【数18】

$$a \geq 0, b \geq 0, |a| \geq |b| \quad \text{のとき}$$

$$\theta_1 = \frac{\pi}{2} - \tan^{-1}(b/a)$$

【0081】

【数19】

$$a \geq 0, b < 0, |a| < |b| \quad \text{のとき}$$

$$\theta_1 = \frac{\pi}{2} + \tan^{-1}(a/|b|)$$

【0082】

【数20】

$$a \geq 0, b < 0, |a| \geq |b| \quad \text{のとき}$$

$$\theta_1 = \pi - \tan^{-1}(|b|/a)$$

【0083】

【数21】

20

$$a < 0, b < 0, |a| < |b| \quad \text{のとき}$$

$$\theta_1 = \pi + \tan^{-1}(a/b)$$

【0084】

【数22】

$$a < 0, b < 0, |a| \geq |b| \quad \text{のとき}$$

$$\theta_1 = \frac{3}{2}\pi - \tan^{-1}(b/a)$$

【0085】

【数23】

$$a < 0, b \geq 0, |a| < |b| \quad \text{のとき}$$

$$\theta_1 = \frac{3}{2}\pi + \tan^{-1}(|a|/b)$$

【0086】

【数24】

$$a < 0, b \geq 0, |a| \geq |b| \quad \text{のとき}$$

$$\theta_1 = 2\pi - \tan^{-1}(b/|a|)$$

【0087】一方、第2信号処理部53も、A/D変換部300, 302、正弦波係数演算部304, 308、余弦波係数演算部306, 310、振幅演算部312, 314及び回転角計算部316を備えている。A/D変換部300, 302は、差動アンプ58, 59からそれぞれ入力された第2正弦波信号 $y_{21}(t) = Ax_1 \cdot Ao \cdot (E_0 + \cos \theta_m) \cdot \sin \theta_2 \cdot \sin(2\pi f t + \psi_2)$ 及び第2余弦波信号 $y_{22}(t) = Ax_2 \cdot Ao \cdot (E_0 + \cos \theta_m) \cdot \cos \theta_2 \cdot \sin(2\pi f t + \psi_2)$ を所定レートでそれぞれサンプリングするとともに、同サンプリングしたアナログ信号をそれぞれA/D変換して出力する。

【0088】正弦波係数演算部304, 308、余弦波係数演算部306, 310、振幅演算部312, 314及び回転角計算部316は、前記第1信号処理部52の各部204~216と同一の機能を発揮して、前記第2正弦波信号 $y_{21}(t)$ 及び第2余弦波信号 $y_{22}(t)$ に基づいて、第2レゾルバ20Bにおけるロータ41のステータ42に対する電気角 $\theta_2$ を計算して出力する。ただし、振幅演算部312, 314は、第2正弦波信号 $y_{21}(t) = Ax_1 \cdot Ao \cdot (E_0 + \cos \theta_m) \cdot \sin \theta_2 \cdot \sin(2\pi f t + \psi_2)$ 及び第2余弦波信号 $y_{22}(t) = Ax_2 \cdot Ao \cdot (E_0 + \cos \theta_m) \cdot \cos \theta_2 \cdot \sin(2\pi f t + \psi_2)$ の各振幅値 $A \sin = Ax_1 \cdot Ao \cdot (E_0 + \cos \theta_m) \cdot \sin \theta_2$ ,  $A \cos = Ax_2 \cdot Ao \cdot (E_0 + \cos \theta_m) \cdot \cos \theta_2$ をそれぞれ計算する。回転角計算部316は、前記数16と同等な下記数25の演算により電気角 $\theta_2$ を計算する。

【0089】

$$\theta_2 = \tan^{-1} \left( \frac{A \sin \theta_1}{A \cos \theta_1} \right) = \tan^{-1} \left( \frac{Ax_1 \cdot A_o \cdot (E_o + \cos \theta_m) \cdot \sin \theta_1}{Ax_2 \cdot A_o \cdot (E_o + \cos \theta_m) \cdot \cos \theta_1} \right)$$

【0090】これにより、第2レゾルバ20Bからの第2正弦波相信号 $y_{11}(t)$ 及び第2余弦波相信号 $y_{21}(t)$ に基づいて、ロータ41のステータ42に対する電気角 $\theta_2$ が計算される。この電気角 $\theta_2$ も、図9に示すように、ロータ41がステータ42に対して90度回転する間に、すなわち機械角90度の範囲内で、0~360度にわたって変化する値を表す。この電気角 $\theta_2$ は、第3信号処理部54及び減算部55に供給される。また、振幅演算部312にて計算された振幅値 $A \sin = Ax_1 \cdot A_o \cdot (E_o + \cos \theta_m) \cdot \sin \theta_1$ も（場合によっては、振幅演算部314にて計算された振幅値 $A \cos = Ax_2 \cdot A_o \cdot (E_o + \cos \theta_m) \cdot \cos \theta_1$ も）、第3信号処理部54に供給される。

【0091】なお、この第2信号処理部53においても、前記第1信号処理部52の場合と同様に、数25の分母の値が極めて小さくなる場合、振幅値 $A \sin, A \cos$ が負の値になる場合には、前記数25の計算が面倒になる。したがって、前記数17~24の適用により、電気角 $\theta_2$ の計算を簡単に行うようにするとよい。

【0092】また、この図5の第1及び第2信号処理部52, 53においては、第1及び第2正弦波相信号 $y_{11}(t), y_{21}(t)$ に対しても、第1及び第2余弦波相信号 $y_{12}(t), y_{22}(t)$ に対しても、それぞれ正弦波係数演算部204, 208, 304, 308及び余弦波係数演算部206, 210, 306, 310をそれぞれ設けるようにした。しかし、正弦波相用コイル34, 44及び余弦波相用コイル35, 45に誘起される信号は励磁用コイル33, 43に印加される励磁信号 $x(t) = A_o \cdot \sin 2\pi f t$ からほぼ $\pi/2$ だけ位相がずれた信号となる。したがって、タイミング信号発生部102から出力される制御信号により、励磁信号 $x(t) = A_o \cdot \sin 2\pi f t$ の出力タイミングと同期させて各係数演算部204~210, 304~310を動作させるようすれば、第1正弦波相信号 $y_{11}(t)$ 、第2正弦波相信号 $y_{21}(t)$ 、第1余弦波相信号 $y_{12}(t)$ 及び第2余弦波相信号 $y_{22}(t)$ の各正弦波成分は理論的には「0」になるはずである。

【0093】したがって、第1及び第2信号処理部52, 53の構成を図6のように簡略化することができる。すなわち、正弦波係数演算部204, 208, 304, 308を省略できる。また、各余弦波係数演算部206, 210, 306, 310によって計算される各係数 $C_{111}$ は、それぞれ第1正弦波相信号 $y_{11}(t)$ 、第1余弦波相信号 $y_{12}(t)$ 、第2正弦波相信号 $y_{21}(t)$ 及び第2余弦波相信号 $y_{22}(t)$ のうちで励磁信号 $x(t) = A_o \cdot \sin 2\pi f t$ と同一周波数成分の各振幅値 $Ax_1 \cdot A_o \cdot (E_o + \sin \theta_m) \cdot \sin \theta_1, Ax_2 \cdot A_o \cdot (E_o + \sin \theta_m) \cdot \cos \theta_1, Ax_1 \cdot A_o \cdot (E_o + \cos \theta_m) \cdot \sin \theta_1, Ax_2 \cdot A_o \cdot (E_o + \cos \theta_m) \cdot \cos \theta_1$

\* \* 【数25】

$\cos \theta_1 \cdot \cos \theta_2$ をそれぞれ表すので、前記振幅演算部212, 214, 312, 314も不要となる。したがって、余弦波係数演算部206, 210, 306, 310によって計算された各係数 $C_{111}$ は、各振幅値 $Ax_1 \cdot A_o \cdot (E_o + \sin \theta_m) \cdot \sin \theta_1, Ax_2 \cdot A_o \cdot (E_o + \sin \theta_m) \cdot \cos \theta_1, Ax_1 \cdot A_o \cdot (E_o + \cos \theta_m) \cdot \sin \theta_1, Ax_2 \cdot A_o \cdot (E_o + \cos \theta_m) \cdot \cos \theta_1$ をそれぞれ表す信号として、回転角計算部216, 316に供給される。そして、回転角計算部216, 316により、前記場合と同様に、上記数16, 25（又は数17~24）により、電気角 $\theta_1, \theta_2$ が計算される。

【0094】また、この場合も、この電気角 $\theta_1, \theta_2$ は、第3信号処理部54及び減算部55に供給される。また、余弦波係数演算部206, 306による振幅値 $A \sin = C_{111} = Ax_1 \cdot A_o \cdot (E_o + \sin \theta_m) \cdot \sin \theta_1, A \cos = C_{111} = Ax_1 \cdot A_o \cdot (E_o + \cos \theta_m) \cdot \sin \theta_1$ も（場合によっては、余弦波係数演算部210, 310による振幅値 $A \cos = C_{111} = Ax_2 \cdot A_o \cdot (E_o + \sin \theta_m) \cdot \cos \theta_1, A \cos = C_{111} = Ax_2 \cdot A_o \cdot (E_o + \cos \theta_m) \cdot \cos \theta_1$ も）、第3信号処理部54に供給される。

【0095】また、A/D変換部200, 202, 300, 302から出力される第1正弦波相信号 $y_{11}(t)$ 、第1余弦波相信号 $y_{12}(t)$ 、第2正弦波相信号 $y_{21}(t)$ 及び第2余弦波相信号 $y_{22}(t)$ の位相を、励磁信号 $x(t) = A_o \cdot \sin 2\pi f t$ の位相に強制的に合わせて正弦波係数 $C_{111}$ のみを計算するようにしてもよい。具体的には、図7に示すように、前記図5のブロック図に、ゼロクロス検出部320を設ければ、第1及び第2正弦波相信号 $y_{11}(t) = Ax_1 \cdot A_o \cdot (E_o + \sin \theta_m) \cdot \sin \theta_1 \cdot \sin(2\pi f t + \psi_1), y_{12}(t) = Ax_1 \cdot A_o \cdot (E_o + \cos \theta_m) \cdot \sin \theta_1 \cdot \sin(2\pi f t + \psi_2)$ と、第1及び第2余弦波相信号 $y_{21}(t) = Ax_2 \cdot A_o \cdot (E_o + \sin \theta_m) \cdot \cos \theta_1 \cdot \sin(2\pi f t + \psi_1), y_{22}(t) = Ax_2 \cdot A_o \cdot (E_o + \cos \theta_m) \cdot \cos \theta_1 \cdot \sin(2\pi f t + \psi_2)$ における位相のずれ量を「0」にすることも可能である。これによれば、上記余弦波係数演算部206, 210, 306, 310を省略できる。

【0096】また、この場合には、正弦波係数演算部204, 208, 304, 308によって計算される各係数 $C_{111}$ が、第1正弦波相信号 $y_{11}(t)$ 、第1余弦波相信号 $y_{12}(t)$ 、第2正弦波相信号 $y_{21}(t)$ 及び第2余弦波相信号 $y_{22}(t)$ のうちで励磁信号 $x(t) = A_o \cdot \sin 2\pi f t$ と同一周波数成分の各振幅値 $Ax_1 \cdot A_o \cdot (E_o + \sin \theta_m) \cdot \sin \theta_1, Ax_2 \cdot A_o \cdot (E_o + \sin \theta_m) \cdot \cos \theta_1, Ax_1 \cdot A_o \cdot (E_o + \cos \theta_m) \cdot \sin \theta_1, Ax_2 \cdot A_o \cdot (E_o + \cos \theta_m) \cdot \cos \theta_1$ をそれぞれ表すので、前記振幅演算部212, 214, 312, 314も不要となる。したがって、正弦

23

波係数演算部204, 208, 304, 308によって計算された各係数 $C_{mn}$ は、各振幅値 $Ax_1 \cdot Ao \cdot (E_0 + sin\theta_0) \cdot sin\theta_1$ ,  $Ax_2 \cdot Ao \cdot (E_0 + sin\theta_0) \cdot cos\theta_1$ ,  $Ax_1 \cdot Ao \cdot (E_0 + cos\theta_0) \cdot sin\theta_2$ ,  $Ax_2 \cdot Ao \cdot (E_0 + cos\theta_0) \cdot cos\theta_2$ をそれぞれ表す信号として、回転角計算部216, 316に供給される。そして、回転角計算部216, 316により、前記場合と同様に、上記数16, 25(又は数17~24)により、電気角 $\theta_1$ ,  $\theta_2$ が計算される。

【0097】また、この場合も、この電気角 $\theta_1$ ,  $\theta_2$ は、第3信号処理部54及び減算部55に供給される。また、正弦波係数演算部204, 304による振幅値 $A sin = C_{m11} = Ax_1 \cdot Ao \cdot (E_0 + sin\theta_0) \cdot sin\theta_1$ ,  $A sin = C_{m11} = Ax_1 \cdot Ao \cdot (E_0 + cos\theta_0) \cdot sin\theta_1$ も(場合によっては、正弦波係数演算部208, 308による振幅値 $A sin = C_{m11} = Ax_2 \cdot Ao \cdot (E_0 + sin\theta_0) \cdot cos\theta_1$ ,  $A cos = C_{m11} = Ax_2 \cdot Ao \cdot (E_0 + cos\theta_0) \cdot cos\theta_1$ も)、第3信号処理部54に供給される。

【0098】また、図5~7の各係数演算部204~210, 304~310、振幅演算部212, 214, 312, 314、回転角計算部216, 316においては、m個のサンプリングデータ毎、すなわち入力したアナログ信号に含まれる励磁信号 $x(t)$ と同一周波数の正弦波成分及び/又は余弦波成分の周期のk倍( $k$ は「1」以上の整数)毎に、各種演算を実行するようにした。しかし、入力したアナログ信号に含まれる励磁アナログ正弦波信号と同一周波数の正弦波成分及び/又は余弦波成分の一周期毎に、前記m個のサンプリングデータを用いた各種演算を行うようにしてもよい。なお、前記 $k$ が「1」よりも大きければ、前記各種演算の実行により、複数の周期分の前記正弦波成分及び/又は余弦波成分が一周期ずつずれながら順次計算されることになる。また、さらに、演算速度を上げて、一つ若しくは複数のサンプリングタイミング毎に、前記m個のサンプリングデータを用いた各種演算を行うようにしてもよい。

【0099】次に、図3, 4の第3信号処理部54について詳細に説明する。この第3信号処理部54は、図8に詳細に示されているように、振幅演算部212, 312からの振幅値 $A sin = Ax_1 \cdot Ao \cdot (E_0 + sin\theta_0) \cdot sin\theta_1$ ,  $A sin = Ax_1 \cdot Ao \cdot (E_0 + cos\theta_0) \cdot sin\theta_1$ をそれぞれ入力するレベルシフト部400, 402を備えている。レベルシフト部400, 402は、回転角計算部216, 316からの電気角 $\theta_1$ ,  $\theta_2$ も入力しており、前記振幅値 $A sin$ ,  $A sin$ から $Ax_1 \cdot Ao \cdot E_0 \cdot sin\theta_1$ ,  $Ax_1 \cdot Ao \cdot E_0 \cdot sin\theta_1$ をそれぞれ減算する。この場合、 $Ax_1 \cdot Ao \cdot E_0$ は、第1及び第2レゾルバ20A, 20Bの構成及び電気回路装置25の回路定数などによって決まる定数であり、予め測定により求めておくとよい。この減算の結果、レベルシフト部400, 402の出力値は、 $Z sin = Ax_1 \cdot Ao \cdot sin\theta_1 \cdot sin\theta_1$ ,  $Z cos = Ax_1 \cdot Ao \cdot cos\theta_1 \cdot sin\theta_1$

24

$\theta_1 \cdot sin\theta_2$ となり(図9の破線参照)、これらの出力値 $Z sin$ ,  $Z cos$ は振幅演算部404, 406にそれぞれ供給される。

【0100】振幅演算部404, 406には電気角 $\theta_1$ ,  $\theta_2$ も供給されており、同振幅演算部404, 406は、下記数26, 27の演算により、機械角 $\theta_m$ の振幅変調による正弦波相の振幅値 $A m sin$ 及び余弦波相の振幅値 $A m cos$ を計算する。ただし、この場合、電気角 $\theta_1$ ,  $\theta_2$ による正弦波状信号が、振幅変調の搬送波に相当する。

【数26】

$$A m sin = \frac{Z sin}{sin \theta_1} = \frac{Ax_1 \cdot Ao \cdot sin \theta_m \cdot sin \theta_1}{sin \theta_1}$$

【0101】

【数27】

$$A m cos = \frac{Z cos}{sin \theta_2} = \frac{Ax_1 \cdot Ao \cdot cos \theta_m \cdot sin \theta_2}{sin \theta_2}$$

【0102】なお、上記数26, 27は分母に $sin \theta_1$ ,  $sin \theta_2$ を含んでいるので、 $sin \theta_1$ ,  $sin \theta_2$ が「0」近傍の値になると、演算が不能になる。しがって、この場合には、 $sin \theta_1$ ,  $sin \theta_2$ が「0」近傍の値であるときに計算した振幅値 $A m sin$ ,  $A m cos$ を用いて近似計算するようにしてよい。

【0103】また、図3~8に破線で示すように、振幅演算部214, 314からの振幅値 $A cos = Ax_2 \cdot Ao \cdot (E_0 + sin\theta_0) \cdot cos\theta_1$ ,  $A cos = Ax_2 \cdot Ao \cdot (E_0 + cos\theta_0) \cdot cos\theta_1$ も、レベルシフト部402及び振幅値演算部404, 406に入力させるようにしてよい。そして、 $sin \theta_1$ ,  $sin \theta_2$ が「0」近傍の値になるとときには、レベルシフト部400, 402は、前記振幅値 $A cos$ ,  $A cos$ から $Ax_2 \cdot Ao \cdot E_0 \cdot cos\theta_1$ ,  $Ax_2 \cdot Ao \cdot E_0 \cdot cos\theta_1$ をそれぞれ減算して、出力値 $Z sin = Ax_2 \cdot Ao \cdot sin\theta_1 \cdot cos\theta_1$ ,  $Z cos = Ax_2 \cdot Ao \cdot cos\theta_1 \cdot cos\theta_1$ を計算すればよい。振幅演算部404, 406は、下記数28, 29の演算の実行により、前記出力値 $Z sin$ ,  $Z cos$ 及び電気角 $\theta_1$ ,  $\theta_2$ を用いて、振幅値 $A m sin$ 及び余弦波相の振幅値 $A m cos$ を計算すればよい。

【0104】

【数28】

$$A m sin = \frac{Z sin}{cos \theta_1} = \frac{Ax_2 \cdot Ao \cdot sin \theta_m \cdot cos \theta_1}{cos \theta_1}$$

【0105】

【数29】

$$A m cos = \frac{Z cos}{cos \theta_2} = \frac{Ax_2 \cdot Ao \cdot cos \theta_m \cdot cos \theta_2}{cos \theta_2}$$

【0106】このようにして計算された振幅値 $A m sin = Ax_1 \cdot Ao \cdot sin\theta_1$ ,  $A m cos = Ax_1 \cdot Ao \cdot cos\theta_1$ 。(又は $A m sin = Ax_1 \cdot Ao \cdot sin\theta_2$ ,  $A m cos = Ax_1 \cdot Ao \cdot cos\theta_2$ )及び $A$

$A_{msin} = A_{x2} \cdot A_o \cdot \sin \theta_1$ ,  $A_{mcos} = A_{x2} \cdot A_o \cdot \cos \theta_1$ ) は、回転角演算部408に供給される。これらの振幅値  $A_{msin} = A_{x1} \cdot A_o \cdot \sin \theta_1$ ,  $A_{mcos} = A_{x1} \cdot A_o \cdot \cos \theta_1$ ,  $A_{msin} = A_{x2} \cdot A_o \cdot \sin \theta_1$ ,  $A_{mcos} = A_{x2} \cdot A_o \cdot \cos \theta_1$  の関係は、第1信号処理部52の回転角計算部216及び第2信号処理部53の回転角計算部316に入力される正弦波相及び余弦波相の振幅値  $A_{msin}$ ,  $A_{mcos}$  の関係と同じである。したがって、回転角計算部410は、回転角計算部216, 316 と同様な、下記数30(又は下記数30, 31)の演算の実行により機械角  $\theta_m$  を計算する。

【0107】

【数30】

$$\theta_m = \tan^{-1} \left( \frac{A_{msin}}{A_{mcos}} \right) = \tan^{-1} \left( \frac{A_{x1} \cdot A_o \cdot \sin \theta_1}{A_{x1} \cdot A_o \cdot \cos \theta_1} \right)$$

【0108】

【数31】

$$\theta_m = \tan^{-1} \left( \frac{A_{msin}}{A_{mcos}} \right) = \tan^{-1} \left( \frac{A_{x2} \cdot A_o \cdot \sin \theta_1}{A_{x2} \cdot A_o \cdot \cos \theta_1} \right)$$

【0109】これにより、第1及び第2信号処理部52, 53からの各振幅値  $A_{msin}$ ,  $A_{mcos}$  及び電気角  $\theta_1$ ,  $\theta_2$ に基づいて、ロータ31, 41のステータ32, 42に対する機械角  $\theta_m$  が検出される。なお、この場合、ロータ31のステータ32に対する機械角と、ロータ41のステータ42に対する機械角とは厳密には異なるが、この機械角  $\theta_m$  はロータ31, 41のステータ32, 42に対する90度ごとの角度を判別できれば足りるので、前記機械角  $\theta_m$  の誤差は無視できる。この機械角  $\theta_m$  は、図9に示すように、ロータ31, 41がステータ32, 42に対して360度回転する間に、0~360度にわたって変化する値を表す。

【0110】なお、前記数30, 31においても、分母の値が極めて小さくなる場合、振幅値  $A_{msin}$ ,  $A_{mcos}$  が負の値になる場合などには、前記数30, 31の計算が面倒になる。したがって、前述した数17~24を用いた演算を適用して、機械角  $\theta_m$  を計算するようにしてもよい。ただし、前記数17~24の適用においては、電気角  $\theta_1$  は機械角  $\theta_m$  に置き換えられ、振幅値  $A_{msin}$ ,  $A_{mcos}$  は振幅値  $A_{msin}$ ,  $A_{mcos}$  に置き換えられ、すなわち  $a = A_{msin}$ ,  $b = A_{mcos}$  とする。

【0111】このようにして計算された機械角  $\theta_m$  は、電気角  $\theta_1$ とともに、機械角変換部410に供給される。この機械角変換部410においては、機械角90度の範囲で360度にわたって変化する電気角  $\theta_1$  の精度で機械角  $\theta_m$  を算出する。まず、図9に示すように、機械角  $\theta_m$  と電気角  $\theta_1$  は位相が異なるので、これらの角度  $\theta_m$ ,  $\theta_1$  の変化を同期させるため、機械角  $\theta_m$  又は電気角  $\theta_1$  の位相をずらして、両角度  $\theta_m$ ,  $\theta_1$  の0度を一致させる。本実施形態では、図9に示すように、破線のように変化する機械角  $\theta_m$  を135度だけずらして実線の

ようとする。

【0112】そして、機械角  $\theta_m$  がほぼ0~90度であれば、電気角  $\theta_1$  を「4」で割った値  $\theta_1/4$  を最終的な機械角  $\theta_m$  として出力する。機械角  $\theta_m$  がほぼ90~180度であれば、電気角  $\theta_1$  を「4」で割った値  $\theta_1/4$  に90度を加算して最終的な機械角  $\theta_m$  として出力する。

機械角  $\theta_m$  がほぼ180~270度であれば、電気角  $\theta_1$  を「4」で割った値  $\theta_1/4$  に180度を加算して最終的な機械角  $\theta_m$  として出力する。機械角  $\theta_m$  がほぼ270~360度であれば、電気角  $\theta_1$  を「4」で割った値  $\theta_1/4$  に270度を加算して最終的な機械角  $\theta_m$  として出力する。

【0113】この場合、機械角  $\theta_m$  は多少の誤差を含んでいるので、機械角  $\theta_m$  が0度、90度、180度、270度、360度の近傍の値を示す場合には、電気角  $\theta_1$  が0度近傍の値であるか、90度近傍の値であるかを調べて、前記最終的な機械角  $\theta_m$  を算出するために前記加算される値を調整する。言い換えれば、広範囲にわたるが高精度でない機械角  $\theta_m$  の精度を、狭い範囲では

20 あるが高精度の電気角  $\theta_1$  で補正して、広範囲にわたって高い精度で操舵軸11の機械角  $\theta_m$  を計算する。

【0114】具体的には、機械角  $\theta_m$  が0度又は360度の近傍の値である状態で、電気角  $\theta_1$  が0度以上の近傍の値であれば、電気角  $\theta_1$  を「4」で割った値  $\theta_1/4$  をそのまま最終的な機械角  $\theta_m$  として出力し、電気角  $\theta_1$  が360度未満の近傍の値であれば前記値  $\theta_1/4$  に270度を加算して最終的な機械角  $\theta_m$  として出力する。また、機械角  $\theta_m$  が90度の近傍の値である状態で、電気角  $\theta_1$  が0度以上の近傍の値であれば、電気角  $\theta_1$  を

30 「4」で割った値  $\theta_1/4$  に90度を加算して最終的な機械角  $\theta_m$  として出力し、電気角  $\theta_1$  が360度未満の近傍の値であれば前記値  $\theta_1/4$  をそのまま最終的な機械角  $\theta_m$  として出力する。機械角  $\theta_m$  が180度の近傍の値である状態で、電気角  $\theta_1$  が0度以上の近傍の値であれば、電気角  $\theta_1$  を「4」で割った値  $\theta_1/4$  に180度を加算して最終的な機械角  $\theta_m$  として出力し、電気角  $\theta_1$  が360度未満の近傍の値であれば前記値  $\theta_1/4$  に90度を加算して最終的な機械角  $\theta_m$  として出力する。機械角  $\theta_m$  が270度の近傍の値である状態で、電気角  $\theta_1$  が

40 0度以上の近傍の値であれば、電気角  $\theta_1$  を「4」で割った値  $\theta_1/4$  に270度を加算して最終的な機械角  $\theta_m$  として出力し、電気角  $\theta_1$  が360度未満の近傍の値であれば前記値  $\theta_1/4$  に180度を加算して最終的な機械角  $\theta_m$  として出力する。

【0115】これにより、精度の良好な機械角  $\theta_m$  すなわち操舵角  $\theta_m$  を得ることができる。なお、電気角  $\theta_1$  を「4」で割った値  $\theta_1/4$  に90度、180度、270度などを加算するのは、第1及び第2レゾルバ20A, 20Bにて、機械角  $\theta_m$  の90度ごとに電気角  $\theta_1$ ,  $\theta_1$  が0~360度にわたって変化するようにしたため、

電気角 $\theta_1, \theta_2$ が $0\sim360$ 度にわたって変化する機械角 $\theta$ の範囲を異なるようにレゾルバを設計すれば、当然に前記比較値及び加算値として異なる値を採用することになる。

【0116】また、機械角変換部410は、次のような処理も実行して、 $360$ 度を超える角度の計算も可能とする。すなわち、今までの説明では、 $0\sim360$ 度までの回転角は精度よく検出されるが、 $360$ 度を超えると $0$ 度にふたたび戻ってしまう。これを解消するために機械角変換部410内にメモリを用意しておき、ロータ31, 41のステータ32, 42に対する回転角が $360$ 度を超えた場合には、越えた回数を記憶しておく。例えば、右方向の回転により前記回転角が $360$ 度を超えるたびに「1」ずつカウントアップされるとともに、左方向の回転により前記回転角が $360$ 度を超えるたびに「1」ずつカウントダウンされるカウント値をメモリに記憶しておくようとする。そして、カウント値に $360$ 度を乗算して、この乗算結果を前記計算した最終的な機械角 $\theta$ に加算するようすればよい。

【0117】なお、基準となる $0$ 度は、図示しない基準信号発生器によって、ロータ31, 41がステータ32, 42に対して基準位置にあるときに、零点補正がされるようにすればよい。本実施形態のように、本発明が車両に適用される場合には、高速走行時のように操舵角 $\theta_h$ が大きくならないときに、電気角 $\theta_1$ が $0$ 度であることを条件に最終的な機械角 $\theta$ を「 $0$ 」に補正するようすればよい。

【0118】しかし、この装置に対する電力の供給を遮断した場合には、たとえ不揮発性メモリに前記1回転以上の回転を表すカウント値を記憶しても、電力供給の遮断時にロータ31, 41がステータ32, 42に対して1回転以上回転されてしまえば、回転角は不明となる。このような場合でも、前記零点の補正により、最終的な機械角 $\theta$ がロータ31, 41のステータ32, 42に対する $360$ 度を超える回転を表すようになることができる。また、車両にあっては、前記電力の遮断状態で、操舵ハンドル10が $360$ 度以上回転されることはないので、同電力の遮断前に前記カウント値を記憶しておけば、操舵ハンドル10の $360$ 度以上の回転も検出できる。

【0119】また、この実施形態においては、第1及び第2信号処理部52, 53で計算された電気角 $\theta_1, \theta_2$ を減算部55に供給するようにした。そして、減算部55にて前記両電気角角度 $\theta_1, \theta_2$ の差 $\theta_1 - \theta_2$ を計算して、角度/トルク変換部56が前記差 $\theta_1 - \theta_2$ に応じてトルク $T_r$ を導出するようにした。したがって、トルク $T_r$ も、簡単な構成で精度よく検出できる。なお、電気角 $\theta_1, \theta_2$ の差 $\theta_1 - \theta_2$ を用いてトルク $T_r$ を導出できるのは、前述のように第1及び第2レゾルバ20A, 20Bの回転角の差がそれほど大きくなることはないため

である。

【0120】また、上記実施形態においても、図3に破線で示すように、さらに第4信号処理部57を設けて、第2レゾルバ20Bの組付け位置における操舵軸11の機械角 $\theta$ を精度よく検出するようにしてもよい。この場合、第4信号処理部57を前記第3信号処理部54と同様に構成して、第1レゾルバ20Bの電気角 $\theta_1$ に代えて第2レゾルバ20Bの電気角 $\theta_2$ を用いるようにすればよい。これによれば、複数の精度のよい回転角を取り出すことも可能となる。

【0121】なお、上記実施形態においては、本発明に係るレゾルバを用いた回転角検出装置を車両の操舵装置に適用した例について説明した。しかし、本発明は、これ以外にも、エンジントルクの検出装置にも適用できる。また、車両に限らず、ほぼ同じように回転する2箇所の回転角、同2箇所の回転角の差、及び同2箇所がトーションバーのような弾性部材で接続された際ににおける同弾性部材に付与される種々のトルク $T_r$ の検出にも利用できる。

【0122】さらに、本発明は、トルク $T_r$ を検出しないで回転角のみを検出する場合にも適用できる。この場合、トーションバー11aに第1及び第2レゾルバ20A, 20Bを組付ける必要はなく、回転時に捩れを伴わない剛体で構成したロッドに第1及び第2レゾルバ20A, 20Bを組付けるようにすればよい。

【0123】また、上記実施形態においては、ロータ21の外周面の半径が周方向に沿って滑らかに変化するような凹凸の周期を $90$ 度（すなわち円周の4分の1）にした。しかし、この凹凸の周期を $90$ 度以外の角度に設定するようにしてもよい。これによれば、前記 $360$ 度を前記設定角度で割った角度ごとに、電気角 $\theta_1, \theta_2$ を $0\sim360$ 度にわたって変化させるようにすることもできる。

【0124】さらに、上記実施形態においては、第1及び第2レゾルバ20A, 20Bをトーションバー11aの外周面上に共に組付けるようにした。しかし、第1及び第2レゾルバ20A, 20Bを剛体で構成したロッド上に組付けた場合でも、第1レゾルバ20Aと第2レゾルバ20Bとの間に位置する操舵軸（回転軸）11の少なくとも一部にトーションバー11aを含んでいればよい。これによっても、操舵軸11及びトーションバー11aに作用しているトルク $T_r$ を検出できる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の一実施形態に係る回転角検出装置を車両の操舵装置に適用した例を概略的に示す概略図である。

【図2】 図1の第1及び第2レゾルバの平面概略図である。

【図3】 前記レゾルバ及び同レゾルバに接続された電気回路装置を機能的に示すブロック図である。

【図4】 図3のレゾルバと電気回路装置との接続の変形例を示すブロック図である。

【図5】 図3、4の励磁信号発生部、第1及び第2信号処理部の詳細ブロック図である。

【図6】 図5の励磁信号発生部、第1及び第2信号処理部の変形例に係る詳細ブロック図である。

【図7】 図5の励磁信号発生部、第1及び第2信号処理部の他の変形例に係る詳細ブロック図である。

【図8】 図3、4の第3信号処理部の詳細ブロック図である。

【図9】 図3、4の各部の信号波形図、電気角及び機械角の変化を示すタイムチャートである。

【図10】 図3、4の励磁信号と正弦波相信号及び余弦波相信号との関係を示すベクトル図である。

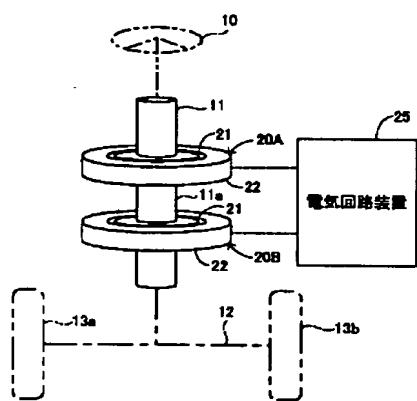
【図11】 図3、4の電気回路装置における信号処理について説明するための正弦波信号の波形図である。\*

\* 【図12】 図3、4の電気回路装置における信号処理について説明するための信号のベクトル図である。

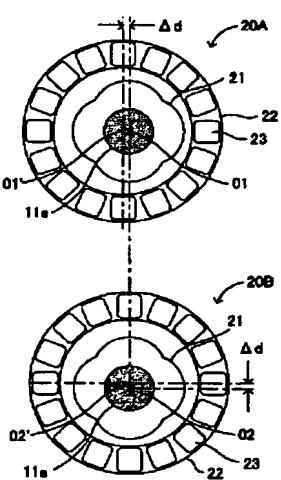
#### 【符号の説明】

10 …操舵ハンドル、11…操舵軸、11a…トーションバー、12…タイロッド、13a、13b…操舵輪、20A…第1レゾルバ、20B…第2レゾルバ、21、31、41…ロータ、22、32、42…ステータ、23…巻線、25…電気回路装置、33…励磁用コイル、34、44…正弦波相用コイル、35、45…余弦波相用コイル、51…励磁信号発生部、52～54、57…信号処理部、55…減算器、56…角度／トルク変換部、204、208、304、308…正弦波係数演算部、206、210、306、310…余弦波係数演算部、212、214、312、314、404、406…振幅演算部、216、316、408…回転角計算部、410…機械角変換部。

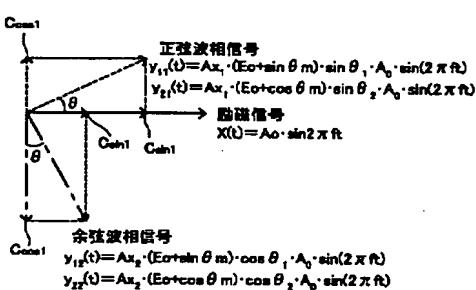
【図1】



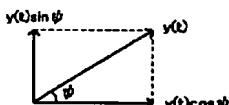
【図2】



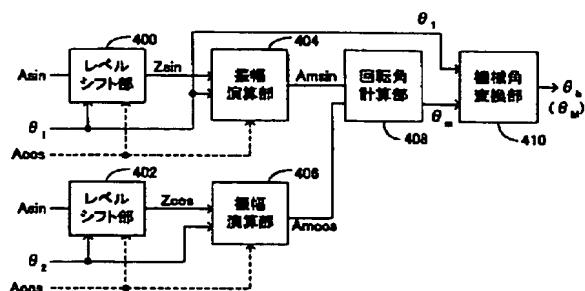
【図10】



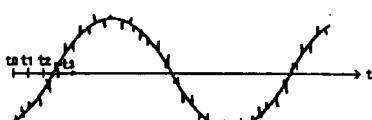
【図12】



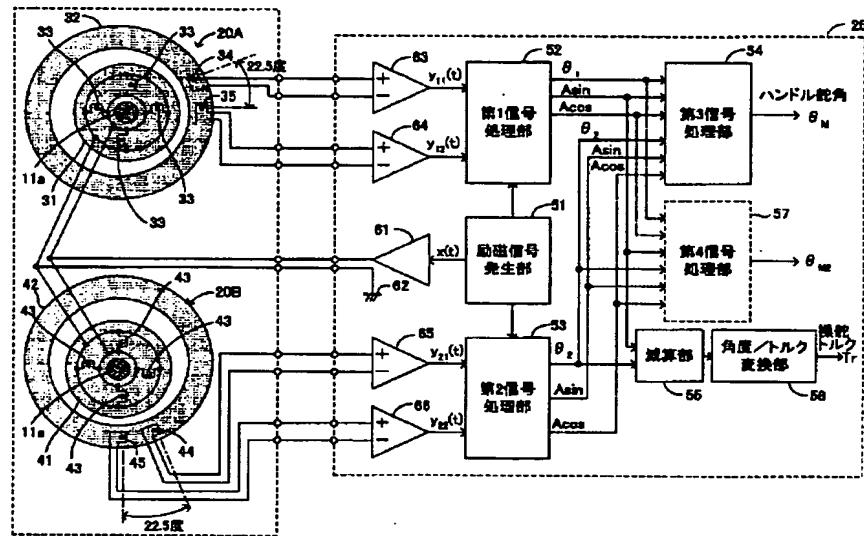
【図8】



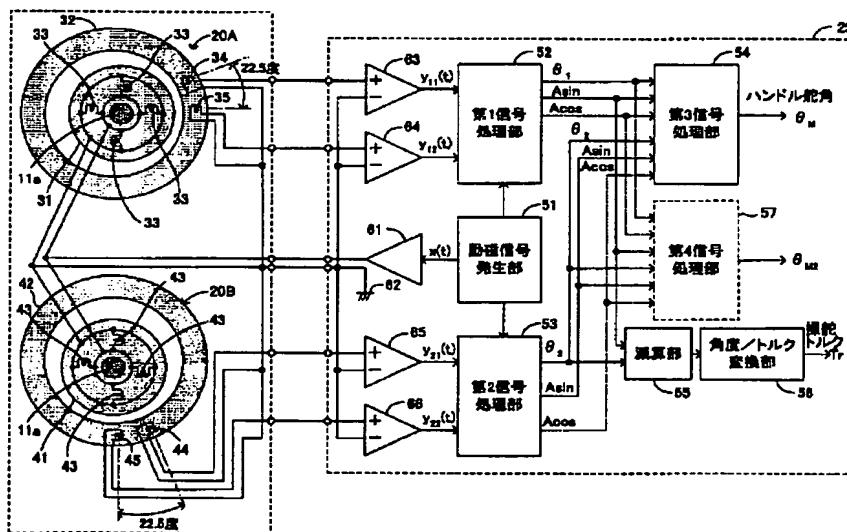
【図11】



【図3】



【図4】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**